

# 5GHz帯のMIMOアンテナ配置 と通信路容量

金田直樹, 住谷泰人, 米本成人, 河村暁子, ニッ森俊一,  
磯崎栄寿(現(財)航空保安無線システム協会)

# 本日の発表内容

- 研究の背景
- MIMO効果の評価手法
- 実験条件
- 結果と解析
- まとめ

# 背景

- 現在の航空交通管制: 種々の無線通信を利用
- メイン: VHF帯アナログ音声
- **航空交通量の増大**に対応

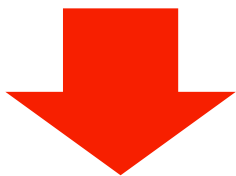


- 将来は航空用**高速デジタル通信**システムが必要

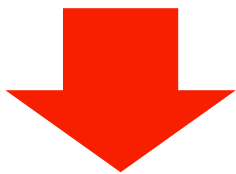


# 研究目的

- 空港面通信システム候補:  
5GHz帯モバイルWiMAX



- WiMAX: MIMO (Multiple-Input Multiple-Output)  
による高速化
  - 従来: SISO (Single-Input Single-Output)



- MIMOシステムの導入効果を検討
  - 航空機の構造体, 建物や地面の反射や遮蔽

# 評価するMIMOシステムの構成

- MIMO導入による高速化の効果を**定量的**評価



しかしながら

**航空機局**のアンテナ数は**増やしにくい**

**地上局**のアンテナ数は**増やせる**



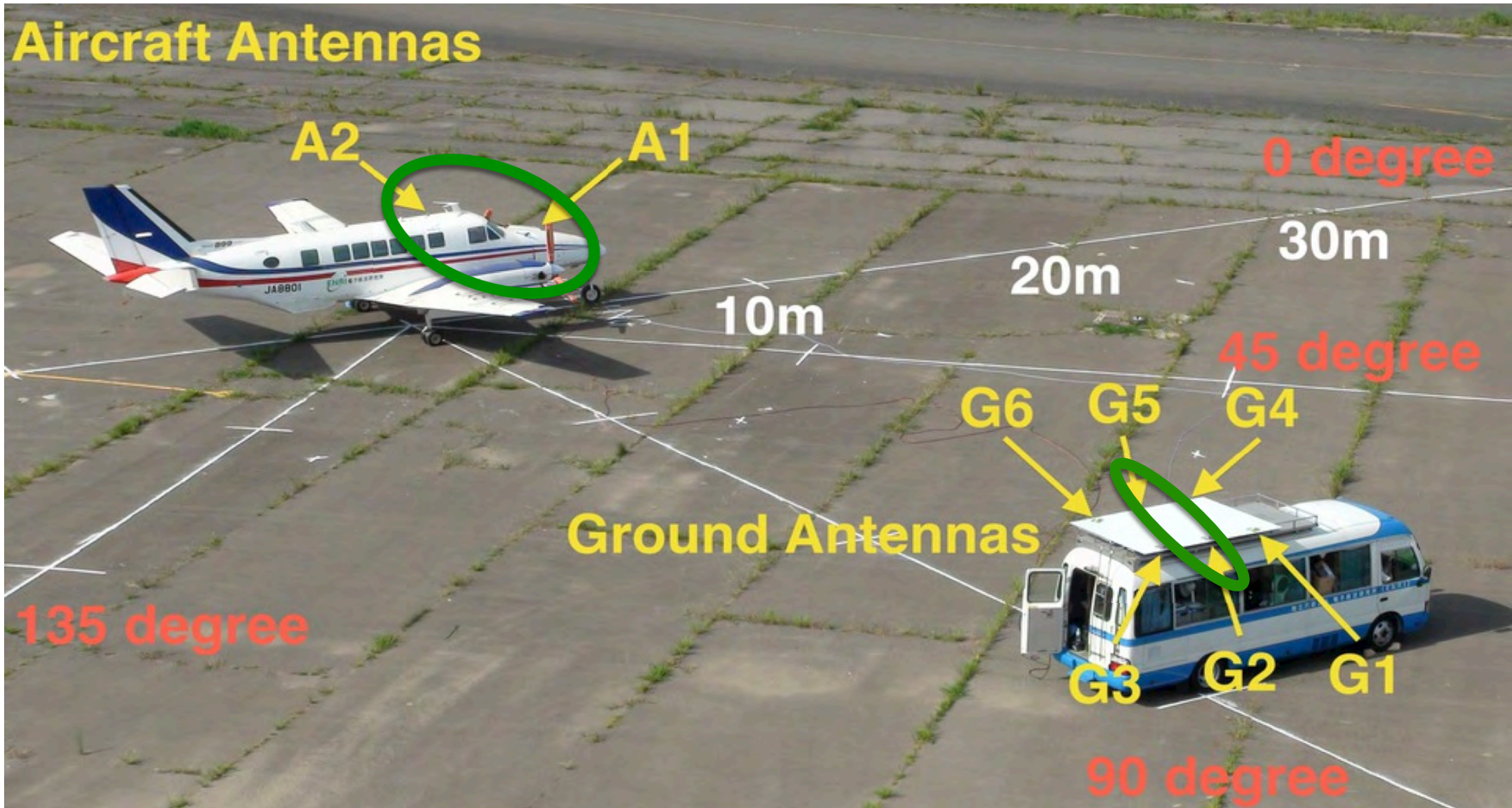
- 航空機局の2アンテナから送信したとき、地上局の受信アンテナ数を2, 6アンテナにした場合のMIMO効果を評価

# MIMO効果の評価手法

- 理論的な通信速度 → チャンネル容量
- チャンネル容量増加率  
 $C(\text{MIMO})/C(\text{SISO})$
- 実環境下での実験的評価

# 実験条件: 測定環境

## Aircraft Antennas



## Ground Antennas

# 実験条件：地上局配置

## □ 距離

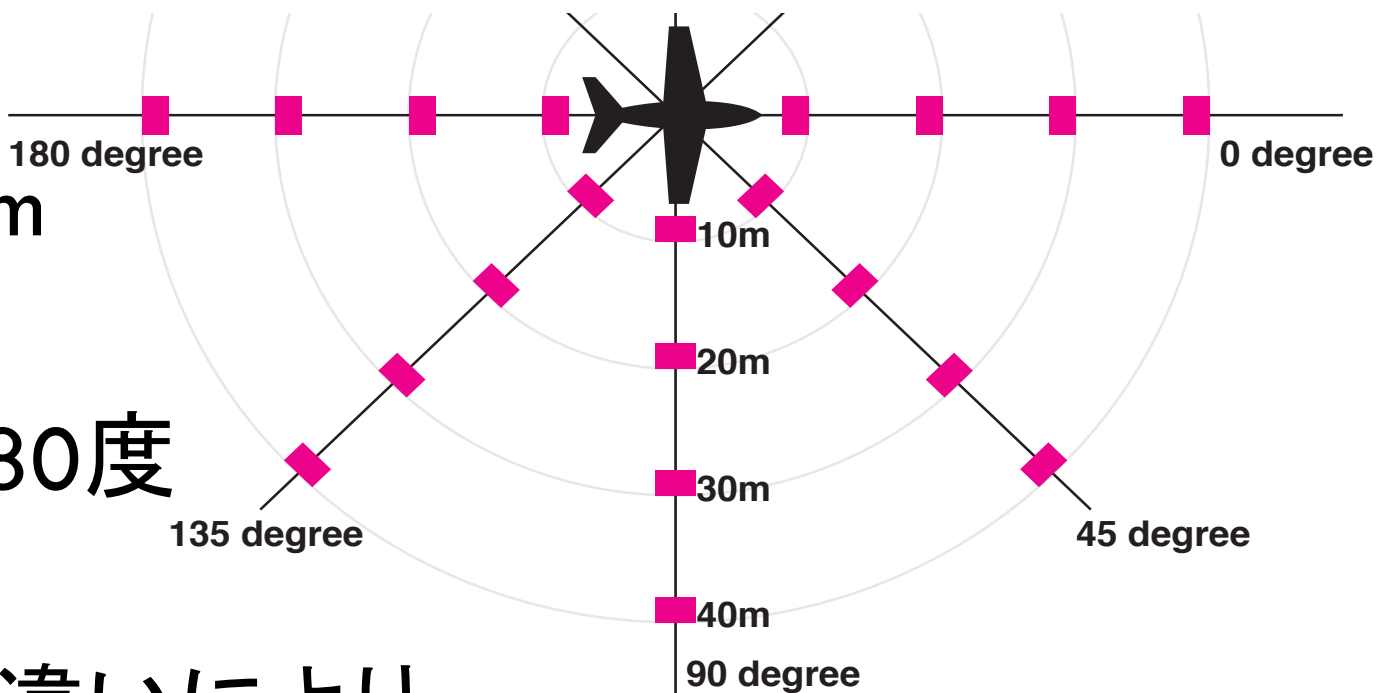
10, 20, 30, 40m

## □ 角度

0, 45, 90, 135, 180度

## □ 方向や距離の違いにより

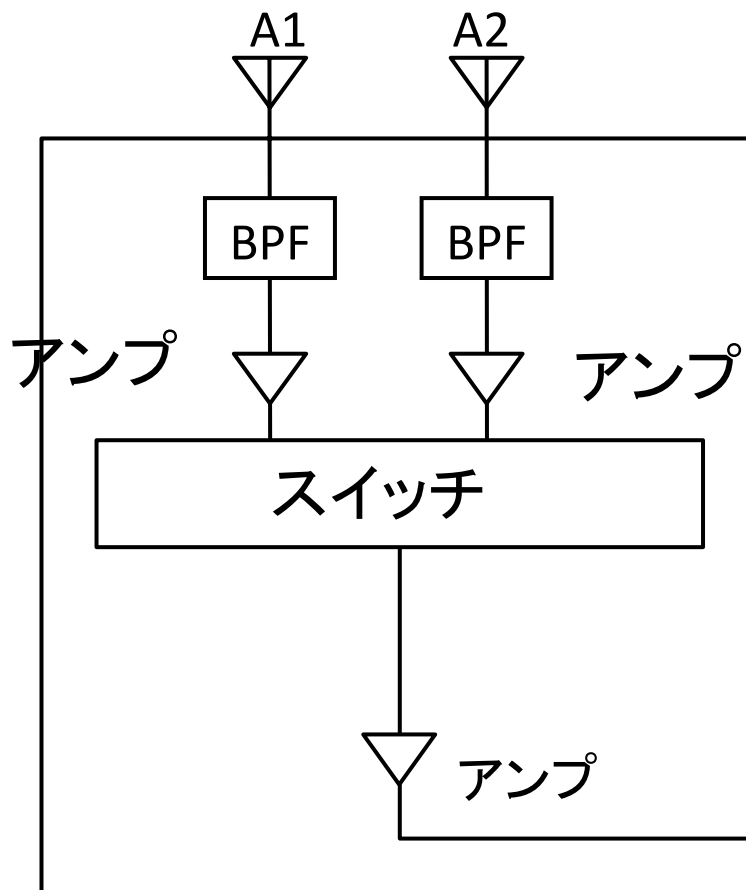
変化するチャンネル容量増加率を求める。



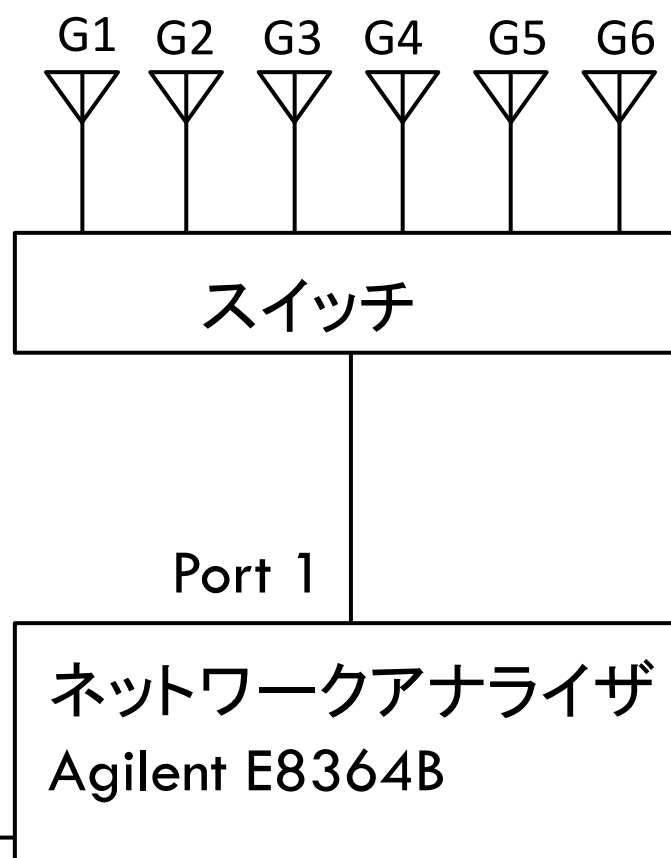


# 実験条件: 測定システム

## 航空機局アンテナ( $1/4\lambda$ )



## 地上局アンテナ( $1/4\lambda$ )



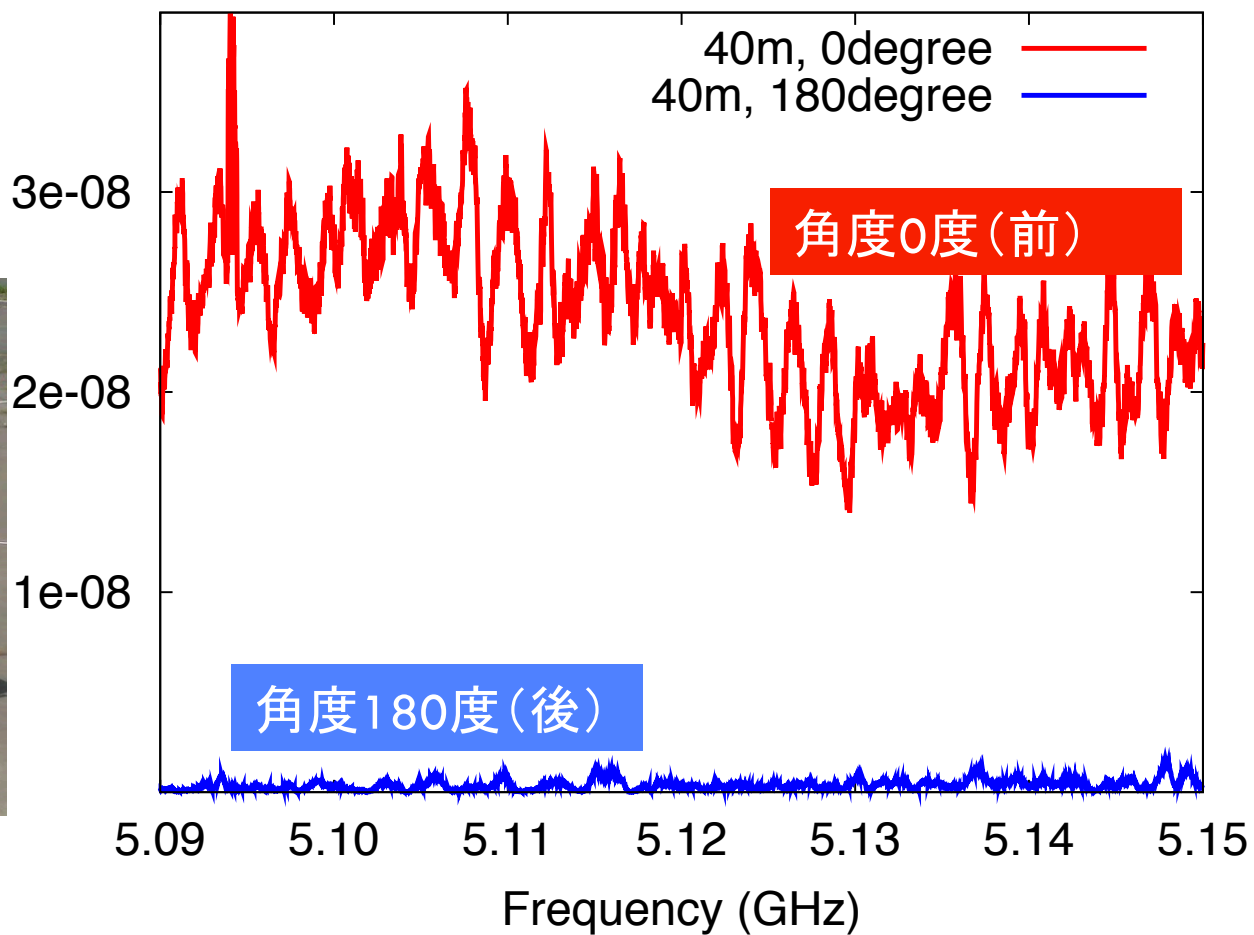
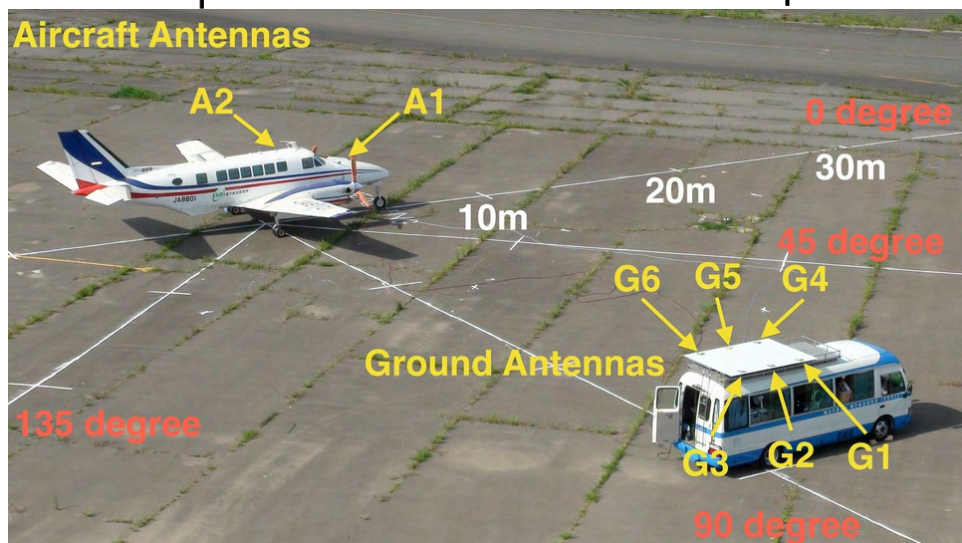
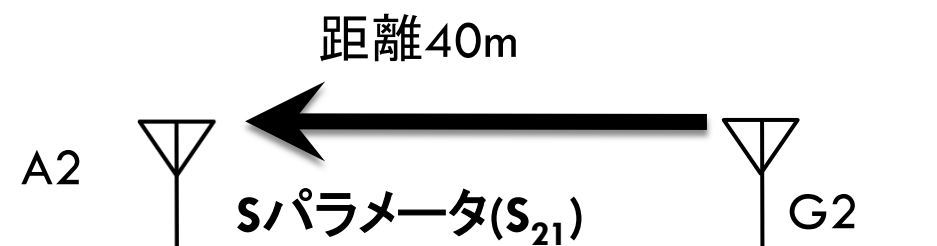
周波数: 5.09~5.15GHz

IF 帯域幅: 1kHz

測定点数: 6001

# 測定結果

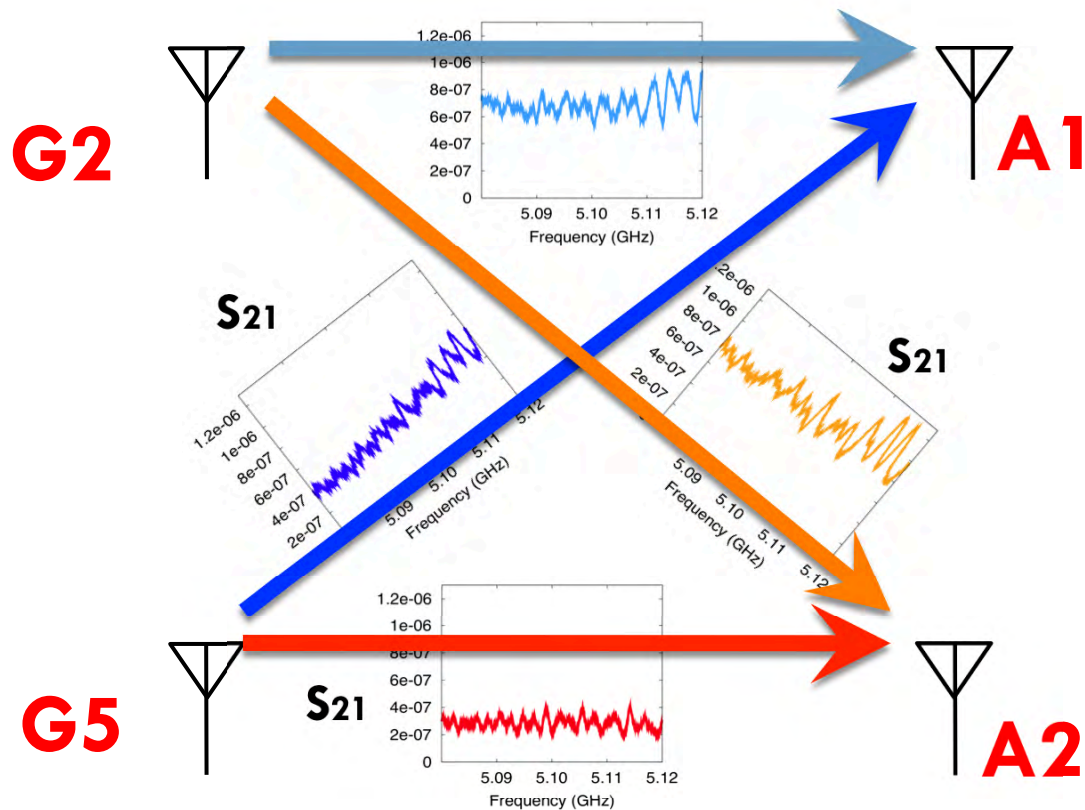
アンテナを切り替えながら受信アンテナに届く電波の強さの周波数特性を測定



# チャンネル容量の導出(1)

(1) 受信アンテナに届く電波の強さを測定

(2) 各周波数で測定値からチャンネル応答行列Aを構成



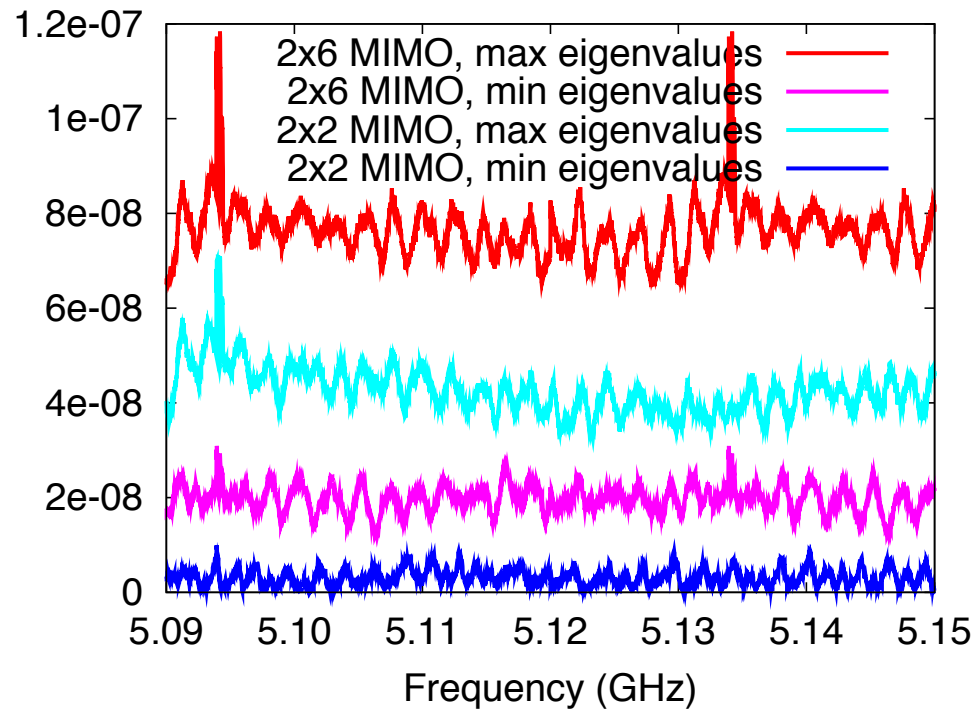
$$\begin{pmatrix} a1 \\ a2 \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} g2 \\ g5 \end{pmatrix}$$

(3) チャンネル応答行列Aの固有値を計算

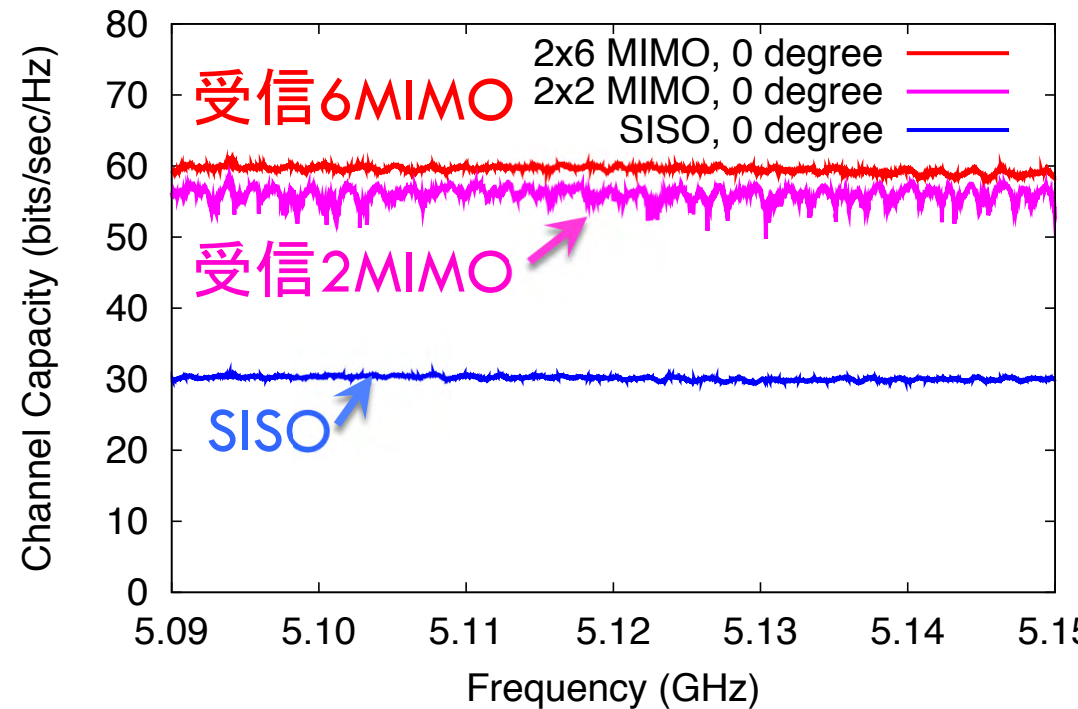
# チャンネル容量の導出(2)

Eigenvalues of 2x6 and 2x2 MIMO at 40m, 0degree

Transmission coefficients equivalent



Channel capacities of MIMO/SISO systems at 40m



周波数毎のチャンネル応答行列の固有値

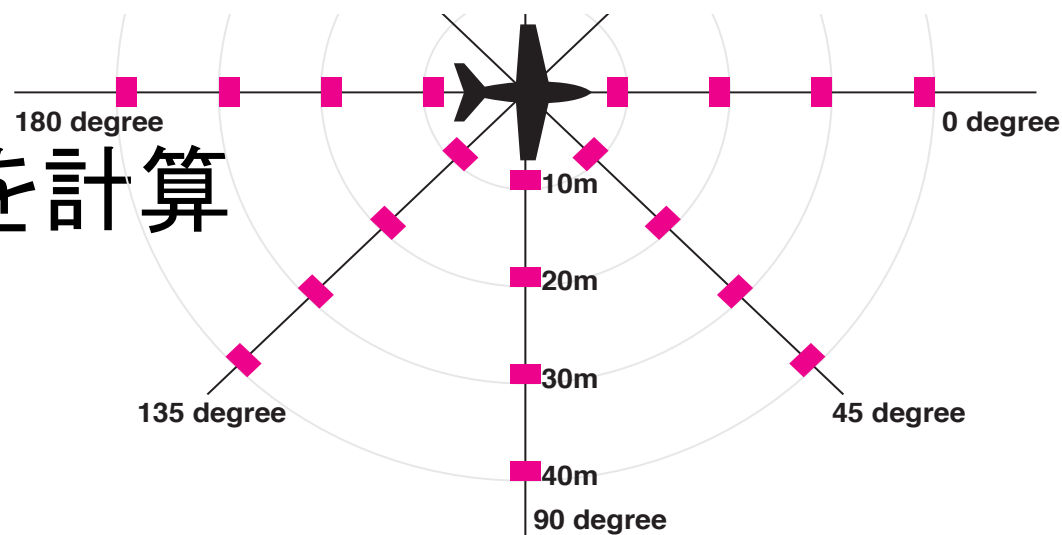


周波数毎のチャンネル容量が計算できる

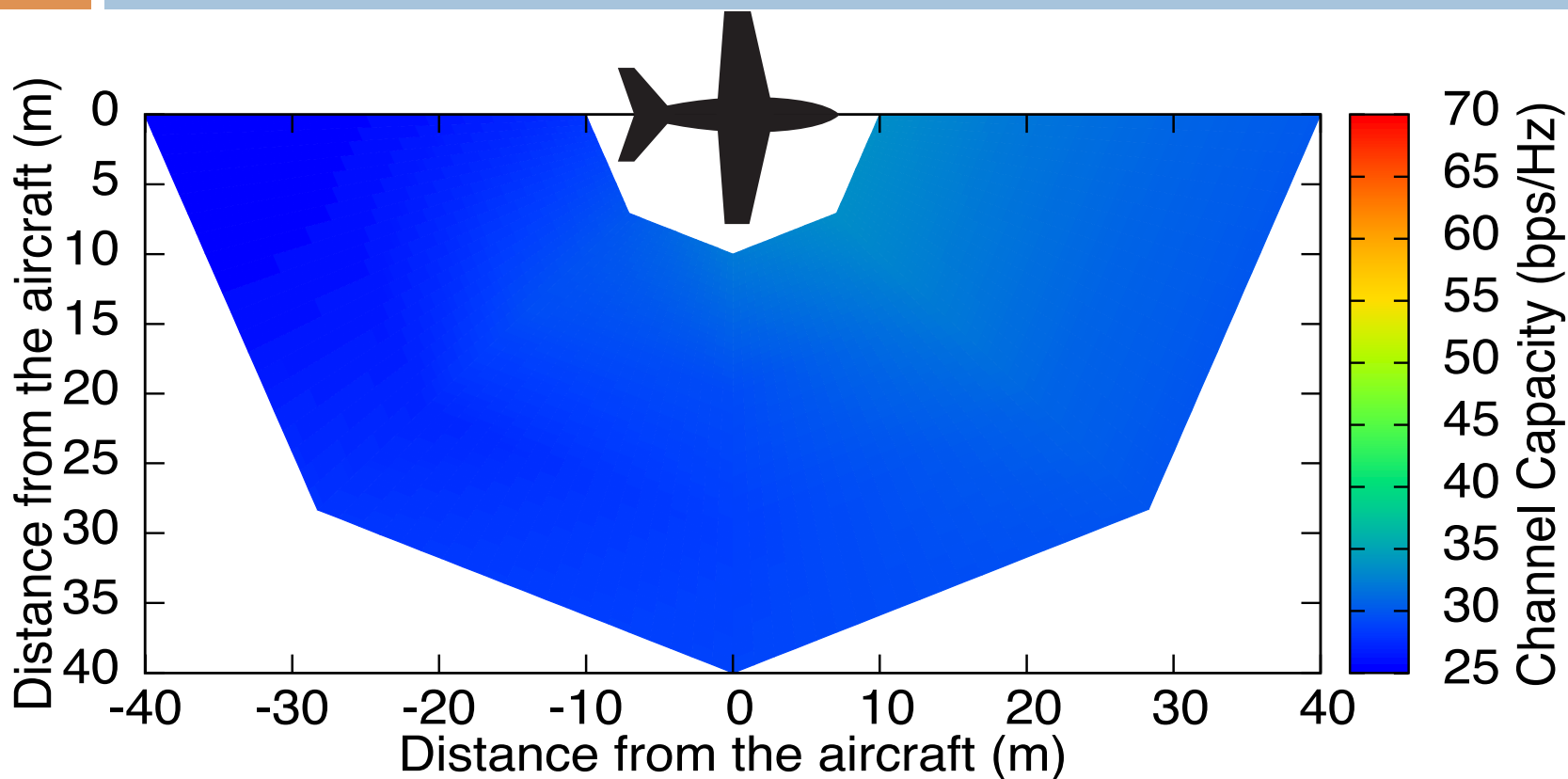
$$C(a \times g \text{MIMO}) = \sum_{i=1}^{\min(a,g)} \log_2 \left( 1 + \frac{\lambda_i P}{nN} \right)$$

# MIMO効果の分析

- 1) 各測定点でSISOのチャネル容量の平均値を計算
- 2) 各測定点で受信2アンテナ,6アンテナの場合のチャネル容量を計算
- 3) 各測定点でチャネル容量増加率を計算

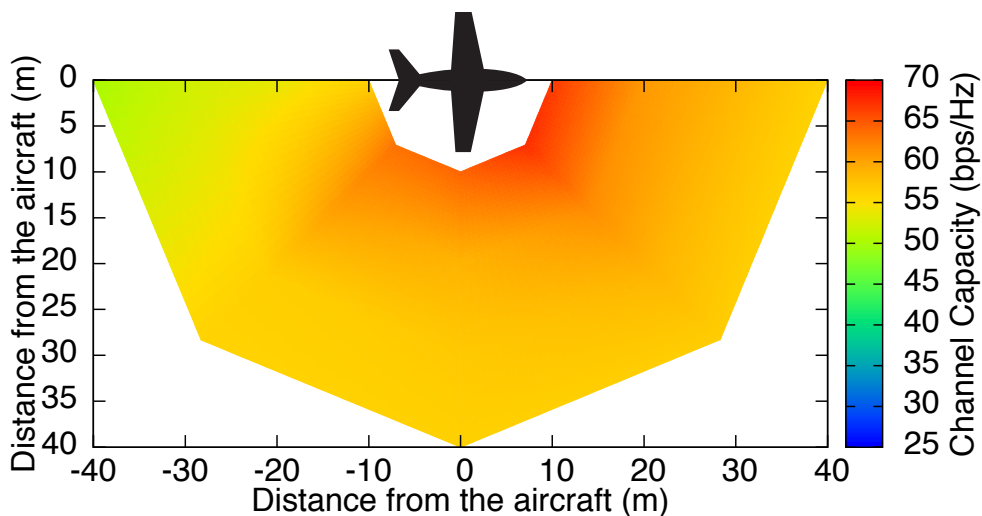


# 分析1: SISOのチャネル容量

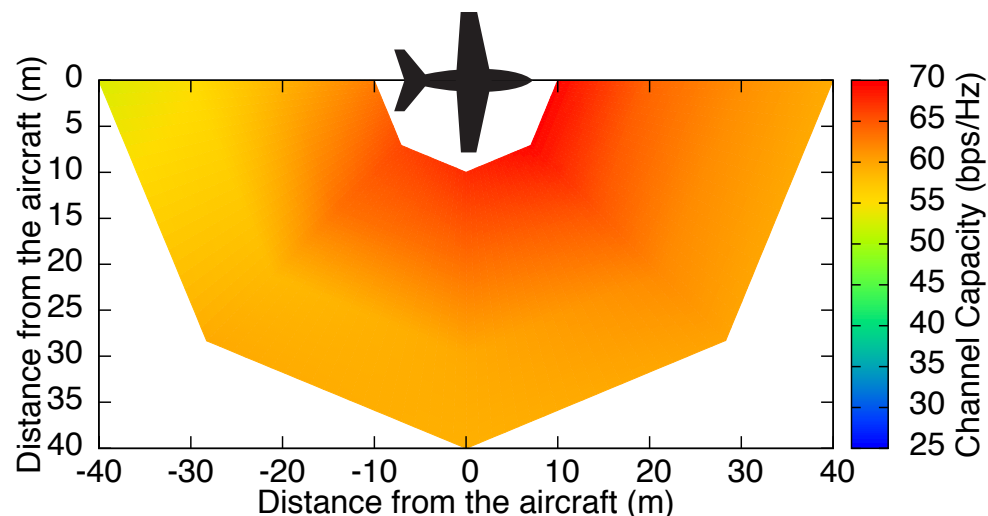


- 航空機の前方:若干チャネル容量が大きい

# 分析2: MIMOのチャネル容量

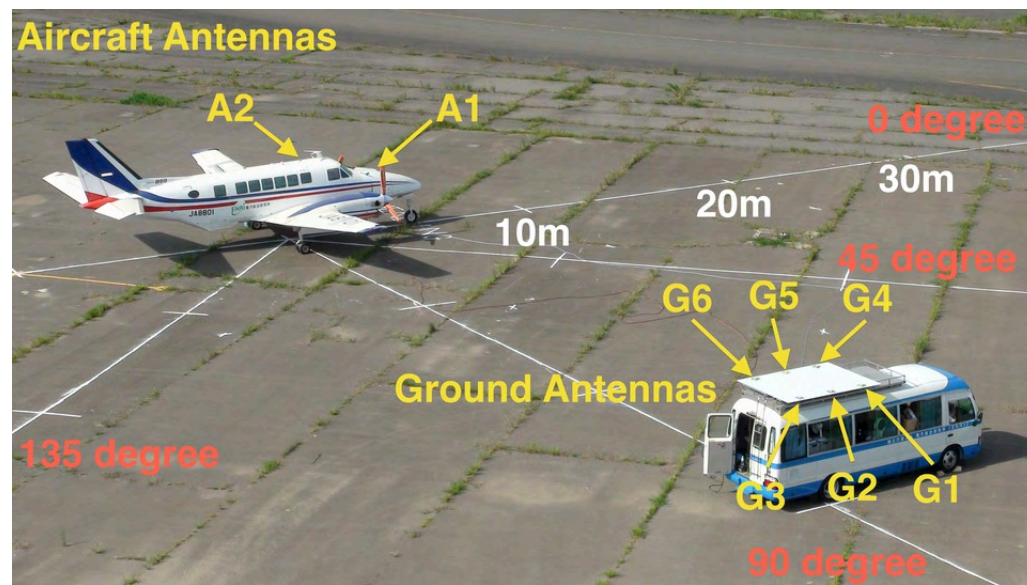


受信2MIMO

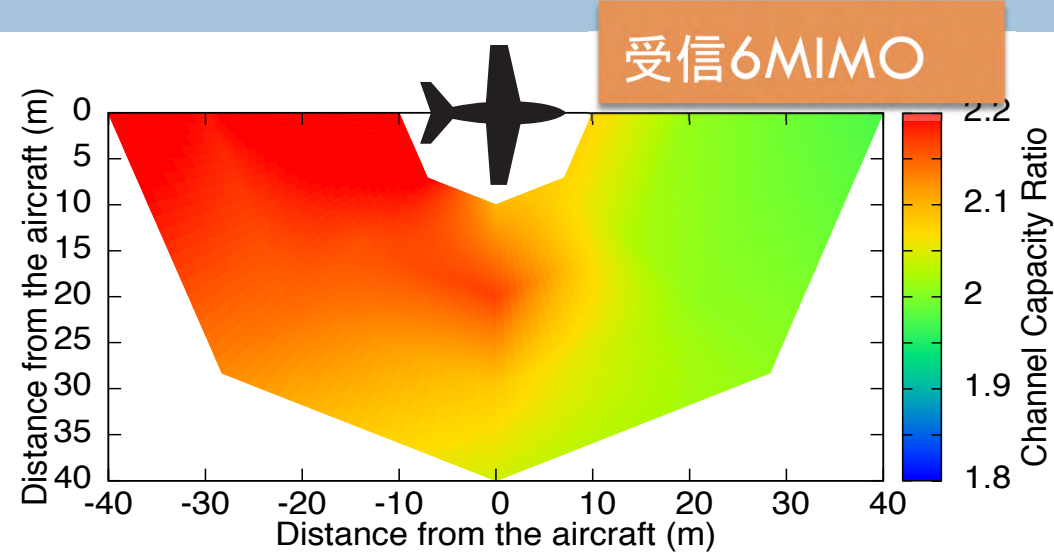
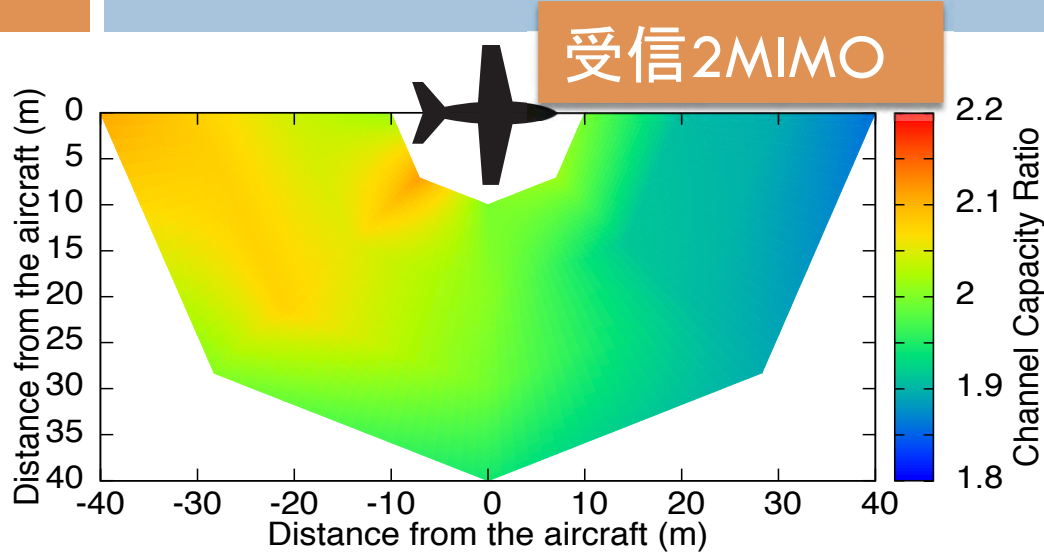


受信6MIMO

- とともに後 < 前
- 受信2MIMO < 受信6MIMO



# 分析3: MIMOのチャネル容量増加率



- 増加率: とともに後 > 前
- 増加率: 受信6MIMO > 受信2 MIMO
- 受信アンテナが全部遮蔽されると性能劣化



# まとめ

- MIMOチャネル容量増加率を実環境で評価
- 測定: SISO, 受信2MIMO, 受信6MIMO
- 結果: 受信6 MIMO > 受信2MIMO >> SISO
- チャネル容量の増加率は後方の悪条件下で向上
- 受信アンテナがすべて遮蔽されると性能劣化
- 今後は仙台空港全域での評価を予定

# 謝辞

- 実験にご協力いただきました国土交通省東京航空局仙台空港事務所関係各位に深く感謝いたします。